

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

# Diplomová práce

2015

Bc. Aleš Maršálek

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

**Studium vad svarových spojů tlakového  
potrubí**  
**The study of weld joint defects of a pressure  
piping**

Vedoucí diplomové práce:  
Student:

Doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
Bc. Aleš Maršálek

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Maršálek**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**  
Specializace: **20 Strojírenská technologie**  
Téma: **Studium vad svarových spojů tlakového potrubí**  
**The Study of Weld Joint Defects of a Pressure Piping**

Zásady pro vypracování:

1. Posouzení současného stavu.
2. Studium poškození svarového spoje tlakového celku.
3. Návrh opravy poškozeného potrubí.
4. Návrh opatření pro zamezení vzniku vad tlakových celků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. Dostupné z: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80> >. ISBN 978-80-248-2414-7.  
HRIVNÁK, I. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava: Veda, 2009, 486 s. ISBN 97-880-2273-167-6.  
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.  
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 350 s. ISBN 80-7204-130-4.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

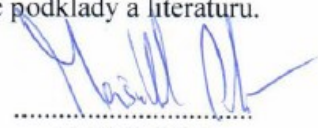


  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5.2015


  
.....  
Aleš Maršálek

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen, s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: .....

15.5.2015

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Aleš Maršálek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Palackého 1513, 753 01 Hranice

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

MARŠÁLEK, A. *Studium vad svarových spojů tlakového celku: diplomová práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015. Vedoucí práce: Hlavatý, I.

Cílem této diplomové práce je studium vad svarových spojů tlakového celku. Tlakovým celkem je myšleno potrubí z vysokolegované austenitické oceli, které se nachází na úpravně vody, kde nám vady vznikaly a které budou řešeny v této diplomové práci. Náplní diplomové práce je posouzení konkrétních vad svarových spojů, kontrola metody svařování, ošetření svaru po svařování, zkoušky svarových spojů. Cílem práce je návrh opravy vad svarových spojů tohoto celku.

## **ANNOTATION OF MASTER WORK**

MARŠÁLEK, A. *The Study of Weld Joint Defects of a Pressure Piping: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015. Thesis head: Hlavatý, I.

The aim of this thesis is to study defects in welded joints of the pressure unit. Total pressure is meant pipeline of high-austenitic steel, which is located at the water treatment plant, where we originated and flaws that will be addressed in this thesis. The content of this thesis is to assess the specific defects of welded joints, weld inspection methods, treatment weld after welding tests for welded joints. The aim is to draft the repair defects in welded joints of the whole piece.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Posouzení současného stavu .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Korozivzdorné oceli .....</b>	<b>9</b>
2.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí .....	9
2.2 Vysokolegované austenitické oceli .....	9
2.2.1 Vysokolegovaná austenitická ocel 1.4301 .....	11
2.3 Přídavné materiály .....	16
<b>3 Koroze a korozní odolnost austenitických ocelí 1.4301 .....</b>	<b>17</b>
3.1 Mezikrystalová koroze .....	18
3.2 Bodová koroze .....	19
3.3 Štěrbínová koroze .....	20
<b>4 Trhliny a vady ve svarových spojích .....</b>	<b>22</b>
4.1 Teplé krystalizační trhliny .....	22
4.2 Vady svarových spojů .....	25
<b>5 Technologie svařování metodou TIG .....</b>	<b>26</b>
5.1 Ochranné plyny .....	27
<b>6 Zkoušky svarových spojů .....</b>	<b>30</b>
6.1 Metalografické zkoušky .....	30
6.1.1 Makrostruktura svarového spoje .....	30
6.1.2 Mikrostruktura svarového spoje .....	32
<b>7 Experimentální část práce .....</b>	<b>33</b>
<b>8 Posouzení vad svarových spojů .....</b>	<b>33</b>
8.1 Vada č. 1 .....	33
8.2 Vada č. 2 .....	36
8.3 Vada č. 3 .....	39
<b>9 Návrh a postup oprav vad svarových spojů .....</b>	<b>42</b>
9.1 Oprava vad č. 1 a č. 2 .....	42
9.2 Oprava vady č. 3 .....	43
<b>10 Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>47</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>50</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
Cr <sub>E</sub>	ekvivalent chromu	
ČSN	česká státní norma	
MKK	mezikristalová koroze	
Ni <sub>E</sub>	ekvivalent niklu	
PT	penetrační metoda	
R <sub>m</sub>	mez pevnosti	[MPa]
R <sub>p</sub>	mez kluzu	[MPa]
RT	radiologická (prozařovací) metoda	
TIG	tungsten inert gas	
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
UT	ultrazvuková metoda	
VT	vizuální metoda	
WPS	technologický postup svařování	
σ	sigma fáze	
φ	průměr	[mm]



## Úvod

V současné době je nutné klást velký důraz na ochranu životního prostředí a proto se i v oblasti vodohospodářství vkládají nemalé finanční prostředky do rekonstrukcí a výstavby nových vodohospodářských staveb (investičních celků). Společnost Kunst, spol. s r.o. se zabývá dodávkami a montážemi technologických částí vodohospodářských staveb, mezi které patří čistírny odpadních vod a úpravní vod.

Především na potrubí, které je ve výstavbě těchto vodohospodářských celků používáno, jsou kladeny vysoké nároky na jeho životnost a ekologickou nezávadnost. V případě svařování potrubí se proto v 90% případů dodává z vysokolegovaných austenitických ocelí, které splňují požadavky, nutné pro jejich uplatnění v provozu. Diplomová práce, vytvořená ve spolupráci se společností Kunst, spol. s r.o. se zabývá problematikou provádění svarových spojů z uváděných materiálů a jejich kontrolami.

Součástí práce jsou dále analýzy příčin vzniku vad ve svarových spoích, jež se projevíly přibližně po jednom roce provozu. Cílem práce byl návrh postupu odstranění vad současně s posouzením, jak těmto vadám předcházet.

## **1 Posouzení současného stavu**

V souhrnné době se pro výrobu dílů úpraven vody používají vysokolegované oceli doplněné potrubím z plastu, které nahradily původní díly z konstrukčních ocelí. Důvodem jsou zvyšující se nároky na kvalitu a životnost kompletního celku.

## **2 Korozivzdorné oceli**

K základním vlastnostem korozivzdorných ocelí patří odolnost proti korozi na vzduchu, v kyselinách a ve vodě. Typickým a hlavním legujícím prvkem je chrom. Obsah chromu zaručující korozivzdornost je 13-15 %. [1]

Tyto oceli se především vyrábí pro:

- lepší korozní vlastnosti
- lepší žírupevné vlastnosti
- zvýšení odolnosti proti opotřebení
- lepší vlastnosti za nízkých teplot. [2]

### **2.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí**

Podle mikrostruktury se korozivzdorné oceli dělí na:

- Feritické chromové oceli
- Martenzitické chromové oceli
- Austenitické Cr-Ni oceli, nebo Cr-Ni-Mo oceli
- Austeniticko-feritické Cr-Ni oceli, nebo Cr-Ni-Mo oceli. [2]

### **2.2 Vysokolegované austenitické oceli**

Základní prvek, který obsahují vysokolegované austenitické oceli, je chrom. Vysokolegované austenitické oceli jsou schopny pasivace, která jim dodává odolnost proti elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Podmínkou těchto ocelí je, že obsah chromu musí být větší než 11,5%. Dále u těchto ocelí může vznikat mezikrystalická koroze vlivem svařování v tepelně ovlivněné oblasti. [3]

Vysokolegované austenitické oceli patří do skupiny ocelí s obsahem legujících prvků, které jsou vyšší než 10,5 hm% legujících prvků. Jedná se o oceli korozivzdorné, jež odolávají elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. [2]

K legujícím prvkům patří:

**Nikl (Ni)**- stabilizuje austenit za normálních teplot a zvyšuje korozní odolnost.

**Chrom (Cr)**- je nutnou přísadou pro zajištění proti oxidaci. S rostoucím obsahem se zvyšuje korozní odolnost v oxidačních prostředích. [3]

Dále se jako legující prvky používají křemík, mangan, fosfor, molybden a titan. Tyto další legující prvky přispívají ke zvýšení korozních odolnosti, a to i v drsnějších prostředích (např. oxidační), dále zlepšují obrobiteľnosť materiálu.

*Tab. 1 Značení ocelí dle jednotlivých norem. [4]*

Značka oceli dle ČSN	Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Číslo materiálu W. Nr.	Značka dle AISI
17 240	X5CrNi18-10	1,4301	304
17 241	X10CrNi18-8	1,4310	
17 243	X8CrNiS18-9	1,4541	303
17 346	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	316
17 348	X6CrNiMoTi17-12-2	1,4571	316 Ti
17 349	X2CrNiMo17-12-2	1,4404	316 L
17 350	X2CrNiMo18-14-3	1,4435	316 L

Největší skupinou korozivzdorných ocelí tvoří austenitické korozivzdorné oceli. U austenitických korozivzdorných ocelí nedochází k transformaci při tepelném zpracování, ale jen při tváření za studena. Tyto materiály dosáhnou optimálního stavu rozpouštěcím žiháním a následným ochlazením ve vodě.

### 2.2.1 Vysokolegovaná austenitická ocel 1.4301

V diplomové práci byla použita vysokolegovaná austenitická ocel 1.4301 (dřívější značení oceli dle ČSN 420 002: 17 240).

V dokumentaci k této oceli lze nalézt další typ značení dle ČSN EN 10027-1 a 2. X5CrNi18-10

Zmíněná ocel 1.4301 je používána v potravinářském a vodohospodářském průmyslu v gastronomickém zařízení a pro vnější konstrukce. Všechny použité materiály na konstrukci celku, musí být doloženy atesty, které udávají chemické složení materiálu a zejména v potravinářském průmyslu a na úpravách vody je nutné, aby materiál obsahoval atest pro styk s pitnou vodou. Chemické složení, mechanické vlastnosti a fyzikální vlastnosti materiálu 1.4301 ukazuje tabulka *Tab. 2*, *Tab. 3* a *Tab. 4*.

*Tab. 2* Chemické složení oceli 1.4301. [5]

Chemické složení v %	
C	< 0,07
Cr	17 - 19,5
Ni	8 - 10,5

*Tab. 3* Mechanické vlastnosti oceli 1.4301.[5]

Pevnost v tahu Rm	520-720 N/mm <sup>2</sup>
Mez průtažnosti (kluzu) Rp	0,2 min. 210N/mm <sup>2</sup>
Tažnost	A 80 mm min. 45%
Žhací teplot	1000 - 1100 °C, chlazení vodou, vzduchem
Nemagnetická	
Nekalitelná	
Se stoupající teplotou klesají hodnoty Rm a Rp	

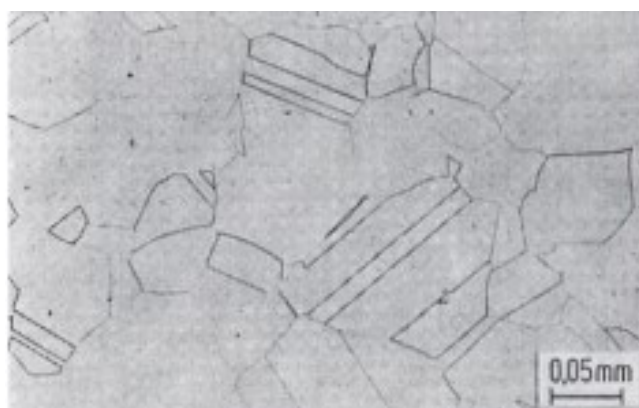
Tato ocel má sklon ke zpevňování za studena, při tažení vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí magnetičnost. Deformační i zbytkový martenzit lze odstranit žháním. Takovéto změny struktury nemají vliv na korozní odolnost materiálu a svařitelnost.[5]

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti oceli 1.4301. [6]

měrná hmotnost	7,9 kg/dm <sup>3</sup>
modul pružnosti při 20 °C	200 kN/mm <sup>2</sup>
tepelná vodivost při 20 °C	15 W / (m x K)
měrná tepelná kapacita při 20 °C	500 J / (kg x K)
elektrický odpor při 20 °C	0,73 W x mm <sup>2</sup> /m

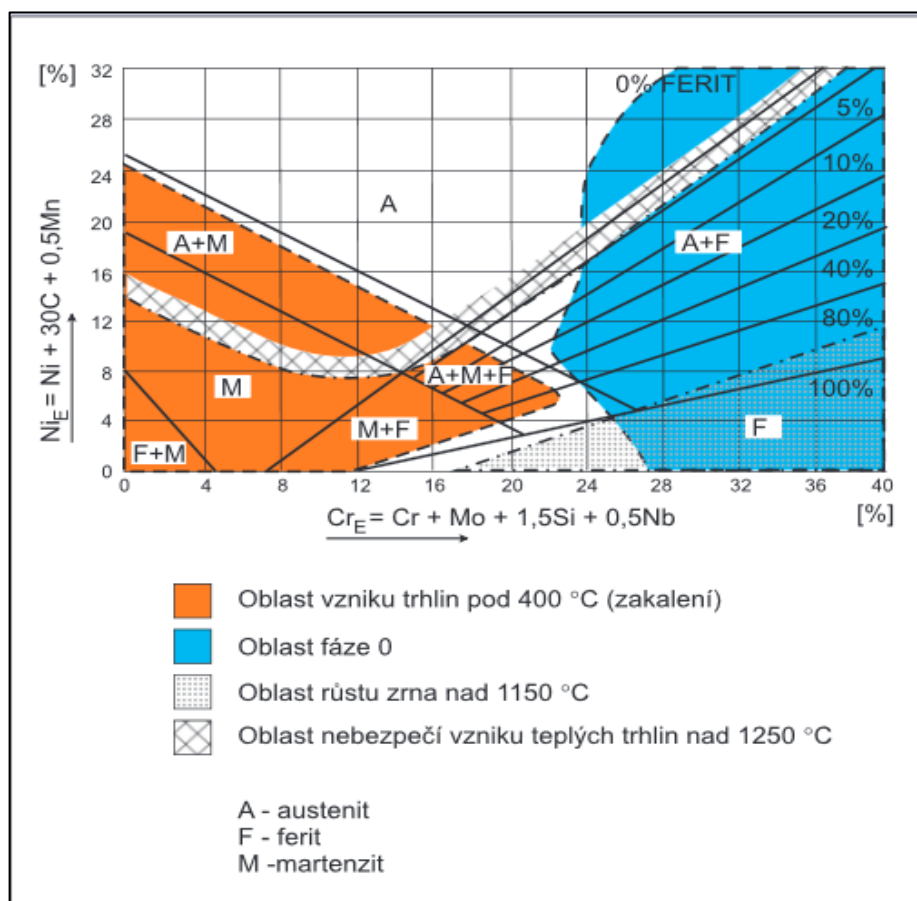
Ocel 1.4301 je označována jako chrom-niklová austenitická nestabilizovaná ocel. Tyto austenitické oceli mají obzvlášť příznivou kombinaci zpracovatelnosti, mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Jsou to jedny z nejvýznamnějších skupin korozivzdorných ocelí. Jednou z nejdůležitějších vlastností této skupiny ocelí je vysoká odolnost proti korozi, která se s narůstajícím obsahem legujících prvků zvyšuje.

Pro dosažení vyhovujících technologických vlastností je nezbytná jemnozrná struktura. Pro konečné tepelné zpracování je používáno rozpouštěcí žíhání při teplotách 1000–1100 °C s následným ochlazením ve vodě nebo na vzduchu. Tyto oceli nejsou kalitelné. Na Obr. 1, je znázorněna austenitická struktura oceli 1.4301. [6]



Obr. 1 Austenitická struktura oceli 1.4301. [6]

Struktura Cr-Ni ocelí vzniká díky kombinací feritotvorných a austenitotvorných prvků na strukturu oceli. Vliv feritotvorných prvků, jenž ocel obsahuje, je vyjádřena ekvivalentem chromu  $Cr_E$ . Vliv austenitotvorných prvků se vyjadřuje ekvivalentem niklu  $Ni_E$ . Na základě obou ekvivalentů byly zkonstruovány konstituční diagramy, které se používají k odhadům výsledné struktury Cr-Ni austenitických ocelí. Je to tzv. Schaefflerův a De Longův diagram. [2]



Obr. 2 Schaefflerův diagram [7]

Význam Schaefflerova diagramu je, že umí posuzovat, jaké strukturní změny vyvolá např. zředění svarového kovu základním materiálem a jaké změny je možno očekávat při svařování. Z diagramu je zřejmé, že vliv na strukturu po vychladnutí mají chrom a nikl. Větší či menší účinek ostatních prvků se vyjadřuje jako násobek. Jako  $Cr_E$ , nebo  $Ni_E$ . To spočívá na hodnotách ekvivalentů, jestli je struktura oceli martenzitická, feritická, nebo austenitická. [8]

### **Svařitelnost austenitické Cr-Ni oceli**

Tyto oceli mají cca o 50 % větší tepelnou roztažnost a o cca 30 % nižší tepelnou vodivost než oceli feritické. Důsledkem je obrovské smrštění vneseným teplem při svařování. Je doporučeno stehování na krátké vzdálenosti a svařenec pokud možno co nejlépe zafixovat do přípravku. Při svařování, dochází ke vzniku větších deformací a napětí, v porovnání s feritickými ocelmi. Proto je snaha udržet množství vneseného tepla na nízké úrovni (nízké proudové hodnoty, krátké housenky). [9]

### **Příprava austenitické oceli pro svařování**

Jelikož má austenitická ocel své specifické vlastnosti, před svařováním se musí dodržovat několik zásad:

- Používat nářadí z vysokolegované austenitické oceli, řezné i brusné kotouče, které jsou předepsány právě pro tyto materiály
- Ochranné plyny nesmí obsahovat CO<sub>2</sub>
- Příprava svarové plochy, většinou úkos V a X
- Dodržení šířky svarové mezery [9]

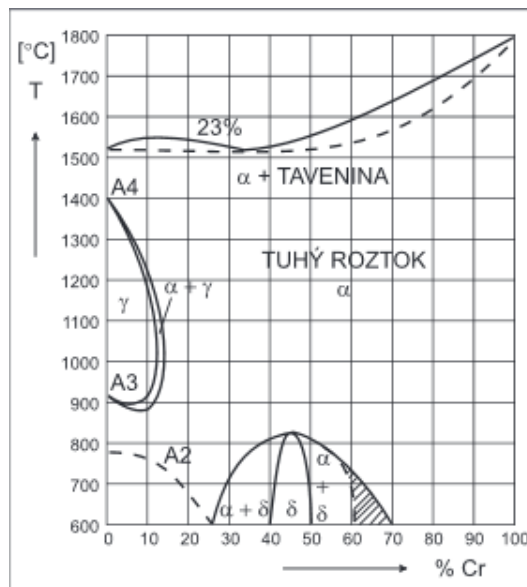
### **Složky ovlivňující svařitelnost ocelí**

Svařitelnost vysokolegovaných austenitických ocelí určují tři složky:

- náchylnost k tvorbě teplých trhlin
- precipitace karbidů chromu, vznik MKK
- zkřehnutí vznikem  $\sigma$ -fáze. [2]

### **Vznik fáze $\sigma$**

Fáze  $\sigma$  je tvrdá intermetalická sloučenina, která způsobuje zkřehnutí chromových ocelí. Vzniká ve svarových spojích v teplotní oblasti 500 – 820 °C. Okolo teploty 600 °C se fáze  $\sigma$  vyskytuje s fází  $\alpha$  v rozmezí obsahu Cr 26 – 41 hm. %, oblast čisté fáze  $\sigma$  v rozmezí 41 – 50 hm. % Cr. Fáze  $\sigma$  je stabilní do teploty 820°C. U teploty 825°C se fáze  $\sigma$  mění na fazi  $\alpha$ . [7]



Obr. 3 Rovnovážný diagram železo - chrom [2]

### Činitelé podporující fázi $\sigma$

- feritotvorné prvky (Si, Al, Ti, Mo) – vyvolávají vznik fáze  $\alpha$  a usnadní přeměnu ve fázi  $\sigma$
- karbidotvorné prvky (Ti, Zr, Nb) zabraňují vazbě chromu na karbidy a tak se posunuje obsah chromu k vyšším obsahům.
- místní přesycení chromem při rychlém ochlazení
- vliv teploty ohřevu v kritické oblasti, jenž umožní zvýšení rychlosti difuze a tím se zvyšuje množství vyloučené fáze  $\sigma$
- intenzivní tváření za studena
- únava za tepla.

Fáze  $\sigma$  se nejčastěji projevuje při obsazích Cr vyšších než 10 hm. %

Austenitické oceli se svařují bez předehřevu, jelikož se nezakalí a nejsou náchylné na vznik studených trhlin. Naopak u austenitických ocelí mohou vznikat teplé trhliny. Aby se vzniku těchto trhlin zabránilo, limituje se tepelný příkon do svarového spoje a používá se teplota interpass do 150 °C. Tyto svarové spoje se většinou tepelně dále nezpracovávají. [2]



## 2.3 Přídavné materiály

Přídavný materiál se pro metodu TIG volí podle chemického složení základního materiálu, podle mechanických vlastností, podle typu svarového spoje a především podle požadovaných vlastností svarového spoje. Platí zásada, že svarový spoj musí mít minimálně stejné nebo podobné vlastnosti, jako materiál základní. Přídavný materiál u metody TIG se podává do svarové lázně ručně. [10]

Svařovací drát je kruhového průřezu a bude používán svařovací drát o  $\phi 2,4$  a  $\phi 3,2$  mm. Jako přídavný materiál je zvolen svařovací drát OK Tigrod 316L (ESAB).

Jedná se o přídavný materiál s velmi nízkým obsahem uhlíku pro svařování austenitických ocelí. Svarový kov má dobrou odolnost proti běžné korozi a dle podmínek je vhodný i pro prostředí mírně kyselá. Tento typ svařovacího drátu je používán v chemickém a potravinářském průmyslu. Při svařování se doporučuje nízký tepelný příkon. Chemické složení přídavného materiálu a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 5 a 6.

Tab. 5 Chem. složení svařovacího drátu. [11]

Typické chemické složení drátu (%)					
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
<0,03	0,5	1,8	19	12	2,8

Tab. 6 Mechanické hodnoty čistého svarového kovu. [11]

Podmínky	Stav	Plyn	Tep. Zk. °C	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	KV (J)/°C			
							+20	-60	-110	-196
EN	TZ 0	I1	20	650	470	32	175	150	120	75
EN	TZ 1	I1	20	610	340	40	190		140	
EN	TZ 1	I1	400	450	205	29				
TZ 0- stav po svařování										
TZ 1- stav po rozp. Žihání 1050°C/hod.										

### 3 Koroze a korozní odolnost austenitických ocelí 1.4301

Nerezavějící oceli vykazují v porovnání s nelegovanými a s nízkolegovanými oceli výrazně mnohonásobně lepší odolnost proti korozi. Jsou odolné proti řadě agresivních médií a většinou nepotřebují žádnou další úpravu povrchu proti korozi. Tato pasivita je dána „přilegováním“ minimálně 10,5 % Cr do železa. Odolnost austenitických ocelí proti korozi je závislá hlavně na chemickém složení oceli, a vedle toho také na jejich povrchu a struktuře. Proto je pro korozní odolnost velmi důležitá správná volba druhu oceli se správným tepelným zpracováním a se správným opracováním povrchu. [6]

Korozní odolnost vysokolegovaných austenitických ocelí v atmosférickém prostředí závisí na správné volbě korozivzdorné oceli pro dané prostředí, na správném konstrukčním uspořádání a na kvalitě povrchu. Při nevhodném použití korozivzdorných ocelí dochází ke zhoršení vzhledu povrchu a ke koroznímu napadení a snížení životnosti konstrukcí. [12]

Korozní odolnost vysokolegovaných austenitických ocelí je rovněž daná vznikem tenké pasivní vrstvy na povrchu materiálu reakcí chromu, který je přítomen v ocelích jako legující prvek, se vzdušným kyslíkem. Ochranné vlastnosti pasivní vrstvy vznikají nezávisle na typu korozivzdorné oceli během 10 až 20 hod. po vystavení materiálu prostředí s vyšší relativní vlhkostí. [13]

#### Příčiny korozního napadení vysokolegovaných austenitických ocelí

U těchto materiálu dochází často vlivem nekvalitního povrchu, buď k pouhému zhoršení vzhledu povrchu, nebo k vážnému koroznímu napadení a snížení životnosti. Příčiny snížené korozní odolnosti mohou nastat již ve výrobních či zpracovatelských operacích:

- špatné skladování, nebo manipulace s materiálem
- dílenské a tepelné zpracování
- mechanické porušení povrchu
- povrchové úpravy. [13]

Jedním z nejběžnějších druhů koroze, která se může vyskytnout u vysokolegovaných austenitických ocelí, je **mezikrystalová koroze**. Mezi další typy vyskytovaných korozí, patří koroze **bodová a štěrbinová**.

### **3.1 Mezikrystalová koroze**

Mezikrystalová koroze u těchto ocelí může vzniknout v pásmu zcitlivění, které se nachází v rozmezí teplot 425 – 815 °C. Vliv uhlíku na vznik právě mezikrystalové koroze se projeví od 0,03 hm. % jeho obsahu. Způsob pro zvýšení odolnosti proti mezikrystalové korozi lze rozdělit do čtyř skupin:

1. chemické složení oceli
2. dobu setrvání v oblasti kritických teplot
3. stabilizace oceli
4. tepelné a mechanické zpracování.

#### **1. chemické složení oceli**

Prvotním problémem je působení uhlíku, který zajišťuje vznik karbidů na hranicích zrn a tím způsobuje zcitlivění austenitické oceli a mezikrystalovou korozi. Takovýto problém lze vyřešit snížením obsahu uhlíku pod 0,03 hm. %. V tomto případě mezikrystalová koroze nemůže nastat. [14]

#### **2. Doba setrvání v oblasti kritických hodnot**

Teplota žhání okolo 650 °C způsobuje nejrychlejší zcitlivění, jelikož při nižší teplotě žhání by byly potřebné doby mnohem delší. Rychlost mezikrystalové koroze závisí na době ohřevu a teplotě. [2]

#### **3. Stabilizace oceli**

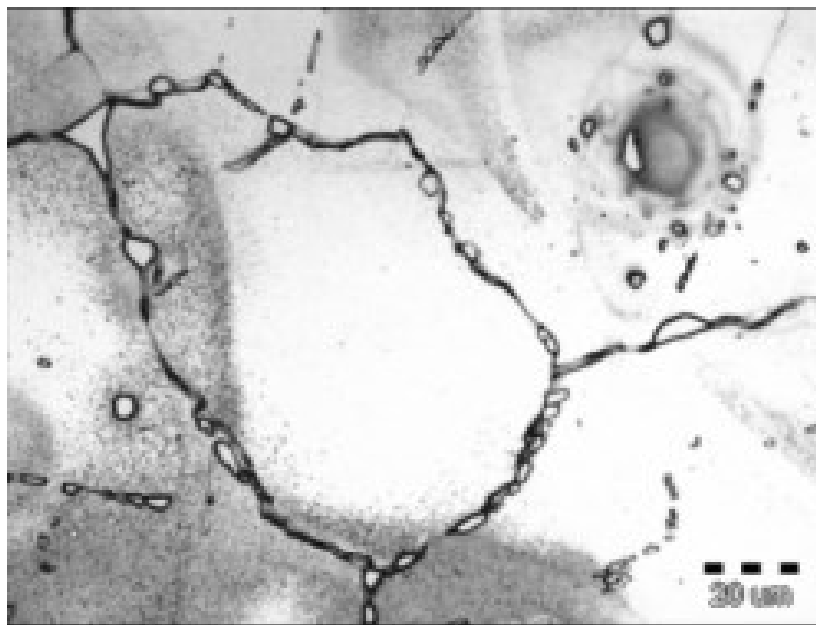
Pro snížení obsahu uhlíku pod 0,03 hm. % se přidávají do austenitických ocelí prvky s větší afinitou k uhlíku než chrom. Mezi tyto prvky patří zejména Titan a Niob, jenž vytváří karbidy titanu a karbidy niobu. Tyto karbidy zabrání vzniku karbidu chromu a zabrání ochuzení hranic zrn o chrom. Stabilizace austenitických ocelí řeší problém mezikrystalické koroze v rozmezí teplot zcitlivění 425 – 815 °C. [14]

#### **4. Tepelné zpracování**

Austenitické oceli ohřáté nad 950 °C mají tendenci pomalu rozpouštět vyprecipitované karbidy chromu a rychlým ochlazením z této teploty, lze ocel udržet v austenitickém stavu.

Pokud je možnost využít žíhání na 1050 °C, urychlí se rozpouštění karbidů a rychlé ochlazení zabrání precipitaci. Poté se svarový spoj stává necitlivým k mezikrystalické korozi. [2]

Karbidy chromu se mohou vylučovat po hranicích zrn, takže ocel je pak náchylná k mezikrystalové korozi viz *Obr. 4*. [15]

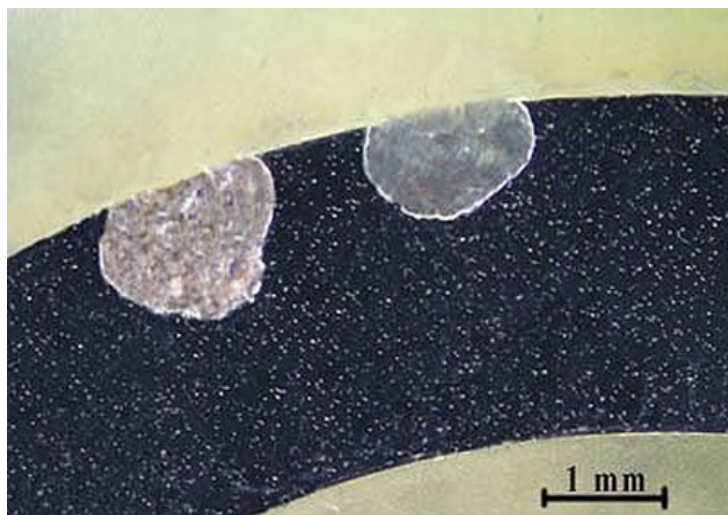


*Obr. 4* Mezikrystalová koroze. [15]

### 3.2 Bodová koroze

Je lokalizované napadení, které může znamenat až úplné proděravění materiálu, přičemž hmotnostní úbytek součásti je zanedbatelný. Bodová koroze je vyvolána především narušením pasivní vrstvy, poškozením povrchu nebo mechanickou vadou. K započetí bodové koroze dochází nejčastěji působením chloridových iontů. Větší odolnosti vůči bodové korozi lze dosáhnout větším množstvím přísad chromu, molybdenu a dusíku. [16]

Bodovou korozi lze charakterizovat jako určitý korozní děj, při kterém vznikají na kovovém povrchu hluboké důlky, přičemž okolní povrch zůstává bez pozorovatelného napadení. Tento druh napadení vzniká na celé řadě pasivovatelných kovů, viz *Obr. 5*. [17]



*Obr. 5 Bodová koroze korozivzdorné oceli. [17]*

### 3.3 Štěrbínová koroze

Štěrbínová koroze je lokalizovaná koroze, obvykle spojovaná se stagnantními roztoky v malých, omezených prostorech. V jakékoliv štěrbině s omezeným přístupem kyslíku může docházet ke štěrbinové korozi. Štěrbiny mohou být dány konstrukčním řešením (spojení kovu na kov, polymerové podložky, izolační materiál, vzájemně se přesahující povrchy kovových součástí), nebo mohou vznikat pod úsadami. Uvnitř štěrbin bývá nedostatek kyslíku, takže se nemůže dobře vytvořit dostatečná pasivní vrstva. Pokud se koncentrace kyseliny a chloridů v roztoku ve štěrbině zvýší na dostatečné hodnoty, pasivní vrstva se poruší a může se rozběhnout štěrbinová koroze. Nelze-li se vzniku štěrbin vyhnout, je třeba, je mít dostatečně široké, tak aby v nich roztoky mohly cirkulovat a aby do nich měl přístup kyslík. [18]



*Obr. 6 Štěrbínová koroze. [19]*



*Obr. 7 Štěrbínová koroze lemového nákrůžku. [19]*

Ke štěrbinové korozi dochází v případě konstrukčních štěrbin v závitových spojích, v pórech svarů, v místech, kde svar není průběžný ze strany média, u lemových a nýtovaných spojů, pod těsníci plochami u spojů, nebo pod povlaky, které ztratily adhezi ke kovu. [19]

## 4 Trhliny a vady ve svarových spojích

Trhliny, které vzniknou ve svarových spojích, jsou nejčastější příčiny nevyhovujících vlastností svarového spoje. Výskyt těchto trhlín je nepřipustný ve všech systémech a stupních hodnocení svarových spojů. [2]

Trhliny, jež vznikají ve svarových spojích, rozdělujeme podle:

- převážného směru šíření
- místa vzniku ve svarovém spoji
- teploty a mechanismu jejich vzniku.

Trhliny, které vznikají z hlediska převážného směru šíření, se dále dělí na:

- trhliny podélné s převážným směrem šíření rovnoběžným s osou svarového spoje.
- trhliny příčné s převážným směrem šíření kolmým na osu svarového spoje.

Trhliny, které vznikají z hlediska místa jejich vzniku, lze dále rozdělit na:

- trhliny ve svarovém kovu.
- trhliny v tepelně ovlivněné oblasti.

Trhliny, které vznikají z hlediska teploty a mechanismu se dále rozdělují na:

- teplé trhliny
- studené trhliny
- lamelární trhliny
- žíhací trhliny. [20]

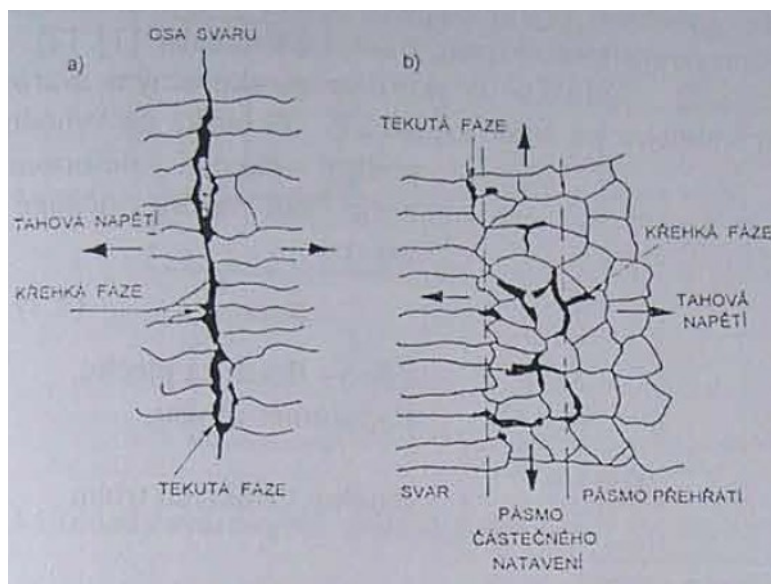
### 4.1 Teplé krystalizační trhliny

Teplé trhliny vznikají ve svarovém kovu, v tepelně ovlivněné oblasti a při ochlazování svarových spojů za vysokých teplot. Dělí se na:

- krystalizační
- likvační
- polygonizační.

### Teplé krystalizační trhliny

Tyto trhliny vznikají pouze ve svarovém kovu. Dávají se do souvislosti se snížením tažnosti kolem teploty solidu. Za nejčastější metalurgické příčiny teplých krystalizačních trhlín v materiálu se považují prvky S, P, Nb, Ti, Si, které tvoří s železem a niklem nízkotavitelná eutektika. Na zvýšení odolnosti proti trhlínám se doporučuje obsah S a P menší než 0,02 hm. %. Obsah křemíku ve svarových kovech je snaha limitovat na max. 0,5 hm. %. Krystalizační trhliny nejčastěji vznikají v ose svaru v kořenových housenkách. [2].



Obr. 8 Oblast vzniků krystalizačních trhlín. [20]

Trhliny se vyskytují jak na povrchu svaru, tak i pod povrchem svaru překryty až 0,5 mm svarového kovu. Krystalizační trhliny mohou být hluboké a výrazně snižují únosnost svarového spoje. Vznikají při svařování pod tavidlem (jedná se o nejčastější výskyt), ale mohou se vyskytnout i při svařování v ochranných atmosférách. Při svařování balenou elektrodou je možnost vzniku krystalizační trhliny méně častá. Samotný vznik krystalizačních trhlín je zvyšován i obsahem uhlíku ve svarovém kovu, způsobený promísením svarového kovu a základního materiálu. [20]

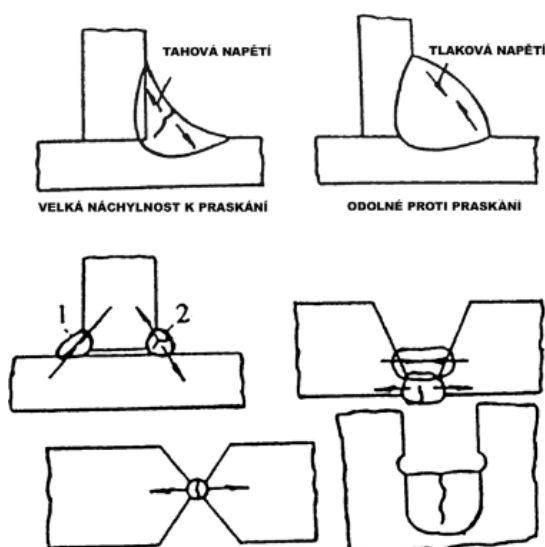
### Způsoby zamezení teplých trhlín

Tepelné trhliny jsou jednoznačně považovány za nežádoucí jevy, které se vyskytují ve svarových spojkách, proto se stále pracuje na vymýšlení nových metod, jež přispějí k zániku vzniku těchto teplých trhlín.

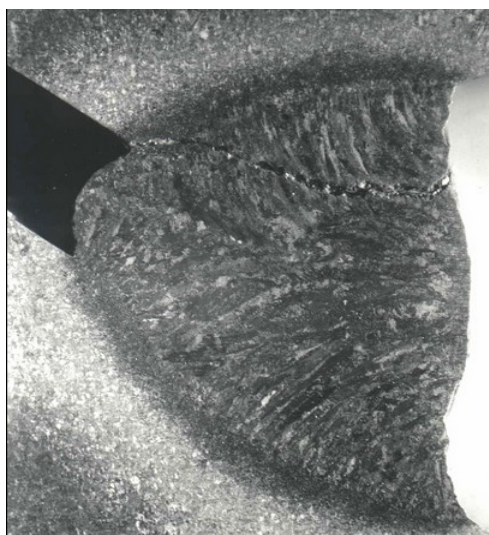


Obecně k zamezení vzniku teplotních trhlin je zapotřebí především:

- snížení měrného příkonu svařování
- přídavné materiály obsahující vysokou čistotu
- omezení deformací a napětí použitím vhodných technik svařování (snížení tuhosti upnutí svarového spoje), promyšlení návrhu svarového spoje
- snížení rychlosti svařování
- max. teplota interpass 150 °C. [2]



Obr. 9 Příklady svarových spojů náchylných k tvorbě teplotních trhlin. [20]



Obr. 10 Ukázka teplotní trhliny. [21]

## 4.2 Vady svarových spojů

Vady, které se vyskytují ve svarech, považujeme za nežádoucí jevy a nebezpečné koncentrátory napětí. Vady ovlivňují velikost meze únavy. Do provozu lze připustit pouze svary bez vad, nebo jen s takovými vadami, které při známém provozním zatížení neohrozí bezpečnost svařovaných konstrukcí. [20]

Vady ve výrobku mohou být zjevné, nebo skryté, které zjistíme pomocí přístrojů a laboratorními zkouškami. Podle předpisů mohou být vady přípustné, nepřípustné, opravitelné a neopravitelné. Vady přípustné jsou takové, kde to technické podmínky dovolují a jejich okamžité odstranění není nutné. Vady nepřípustné jsou takové, které nesplňují technické podmínky a neodpovídají dovoleným hodnotám. [21]

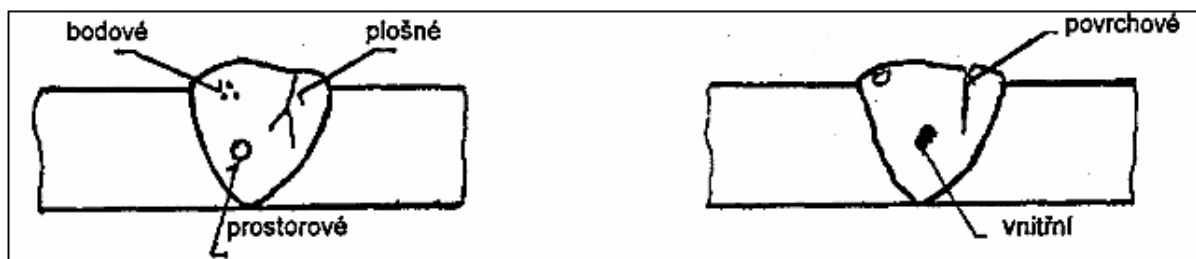
Dále lze vady rozdělit z hlediska tvaru a dle polohy vad ve svaru.

Podle tvaru rozlišujeme ve svarech vady:

- bodové (mikropóry, vměstky)  
plošné (trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary)
- prostorové (plynové dutiny, vměstky, staženiny).

Podle polohy vad ve svaru rozlišujeme vady:

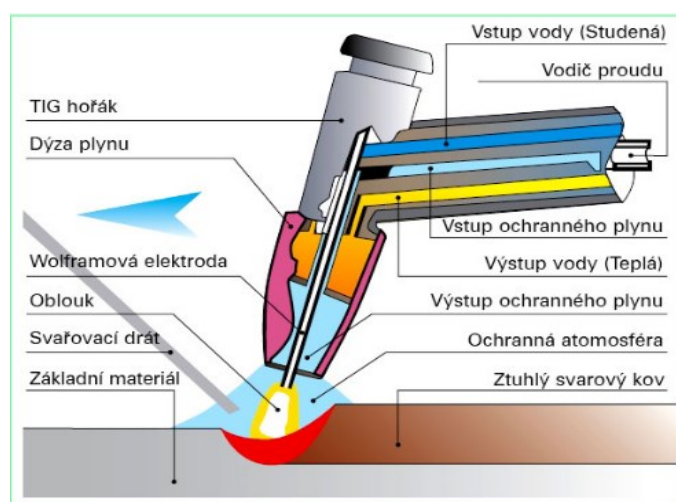
- povrchové (trhliny, studené spoje)
- vnitřní (plynové dutiny, staženiny, studený spoj, neprůvar v kořeni).



Obr. 11 Vady ve svarových spojih. [21]

## 5 Technologie svařování metodou TIG

TIG (technologie 141) je mezinárodní zkratka pro označení metody svařování elektrickým obloukem pomocí netavicí se elektrody, kdy oblouk hoří v ochranné atmosféře inertního plynu mezi netavicí se elektrodou a základním svařovaným materiálem (obr. 12). Jelikož se elektroda nesmí odtavovat, musí být vyrobena z materiálu, který je odolný velmi vysokým teplotám, proto se jako materiál používá wolfram. TIG svařování lze mechanizovat, nebo úplně automatizovat. Při úplné **automatizaci** je hořák upnut ve stroji a vše je řízeno automaticky. [22]



Obr. 12 Princip svařování metodou TIG [23]

Při svařování korozivzdorných materiálů, (např. vysokolegované austenitické oceli), oxidují okrajové zóny v důsledku styku se vzdušným kyslíkem, kterému nelze vždy úplně zabránit. Proto vznikají tzv. náběhová zbarvení. Tato zbarvení se dají následným opracováním odstranit, čímž se odolnost proti korozi obnoví. Efektivním postupem je tvorbě náběhových zbarvení zcela zabránit. To se děje prostřednictvím formovacích plynů. Tyto plyny brání přístupu vzduchu k okrajovým zónám svaru a v mnohých případech ovlivňují tvorbu kořene svarového spoje. Jako formovací plyny slouží směsi vodíku a dusíku, avšak nevylučuje se ani použití argonu. [24]

Pokud je základní materiál silnější než 5 mm, používá se metoda TIG jen pro svařování tzv. kořenové vrstvy. Výplň svaru se provádí např. metodami 111, 131 nebo 121.

Pro řadu aplikací je výhodné použití pulzního svařovacího proudu, aby se zabránilo příliš intenzivnímu vnesení tepla a natavování základního materiálu a tím protavení svaru. Hlavně u tenkých plechů lze z tohoto důvodu tvorbu svarového švu lépe ovládat, jelikož základní materiál se pouze po malých úsecích natavuje a opětovně tuhne. [24]

## 5.1 Ochranné plyny

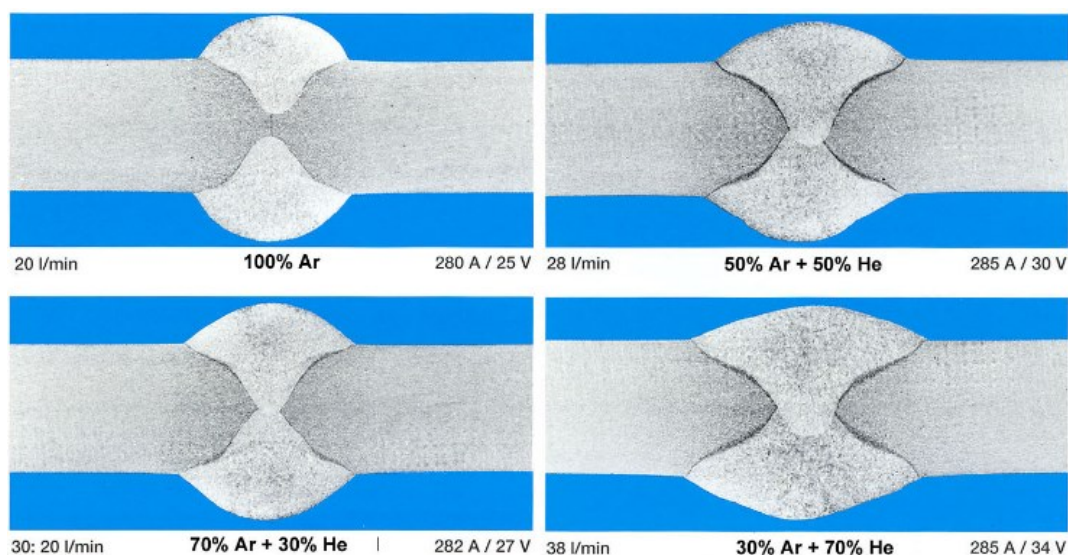
Ochranné plyny chrání především svařovací oblouk, tavnou lázeň a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který vytváří oxidaci, pórovitost a propal základního materiálu. [25]

Ochranný plyn slouží pro:

- síly působící v oblouku
- tvar a rozměry oblouku
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje
- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku. [23]

Mezi hlavní ochranné plyny řadíme a používáme Argon, Helium, případně jejich směsi. Tyto plyny chemicky nereagují se svarovou lázní. Propal prvků ve svarovém kovu je pouze minimální. Ochranné plyny nemají žádný vliv na chemické složení svarového kovu.

Na obr. č. 16 je ukázka svarových kořenů v důsledku záměny ochranných plynů. V tab. č. 6 je znázorněn rychlý přehled ochranných plynů a směsí pro metodu TIG. Do svařovacího zdroje je plyn pouštěn z tlakové láhve přes redukční ventil.



Obr. 13 Záměna plynů u metody TIG. [23]

Tab. 7 Přehled ochranných plynů a směsí [26]

Název produktu	Skupina dle ČSN EN ISO 14175	Složení[%]						Metoda svařování
		Ar	He	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
<b>Svařovací argon 4.6</b>	I1	100						TIG/MIG
<b>Argon speciál 4.8</b>	I1	100						TIG/MIG
<b>Hélium 4.6</b>	I2		100					TIG/MIG
<b>Aluline He90</b>	I3	10	90					TIG/MIG
<b>Aluline He70</b>	I3	30	70					TIG/MIG
<b>Aluline He50</b>	I3	50	50					TIG/MIG
<b>Aluline He30</b>	I3	70	30					TIG/MIG
<b>Aluline N</b>	Z	Zbytek					0,015	TIG/MIG
<b>Aluline He15 N</b>	Z	Zbytek	15				0,015	TIG/MIG
<b>Aluline He30 N</b>	Z	Zbytek	30				0,015	TIG/MIG
<b>Aluline He50 N</b>	Z	Zbytek	50				0,015	TIG/MIG
<b>Inoxline H2</b>	R1	98				2		TIG
<b>Inoxline H5</b>	R1	95				5		TIG
<b>Inoxline H7</b>	R1	92,5				7,5		TIG
<b>Inoxline N1</b>	N2	98,75					1,25	TIG
<b>Inoxline N2</b>	N2	97,5					2,5	TIG
<b>Inoxline He15 N1</b>	N2	83,75	15				1,25	TIG
<b>Inoxline He3 H1</b>	R1	95,5	3			1,5		TIG

## **Parametry svařování**

U metody 141 jsou důležité tři parametry svařování a to:

- napětí na oblouku
- svařovací proud
- rychlost svařování.

Svařovací proud se nastavuje podle:

- typu svarového spoje
- základního materiálu
- tloušťky základního materiálu
- polohy svařování.

Rychlost svařování se volí podle:

- $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  - tenké plechy
- $200 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  - tlusté plechy
- polohy svařování.

Svařovací napětí záleží na délce oblouku. Délka oblouku záleží na svařovaném základním materiálu. U vysokolegovaných ocelí je délka oblouku 3-5 mm.

## **6 Zkoušky svarových spojů**

Zkoušky svarových spojů se dělí na destruktivní a nedestruktivní zkoušky. Mezi destruktivní zkoušky patří např. zkouška ohybem, příčná a podélná tahová zkouška. Do skupiny zkoušek nedestruktivních řadíme zejména zkoušky ultrazvukem (UT), vizuální metody (VT), prozařovací metody (RT) a penetrační metody (PT).

Ze zkoušek destruktivních se v této diplomové práci budu zabývat zkouškou metalografickou a z nedestruktivních zkoušek to bude, výše již jmenovaná zkouška, prozařovací.

### **6.1 Metalografické zkoušky**

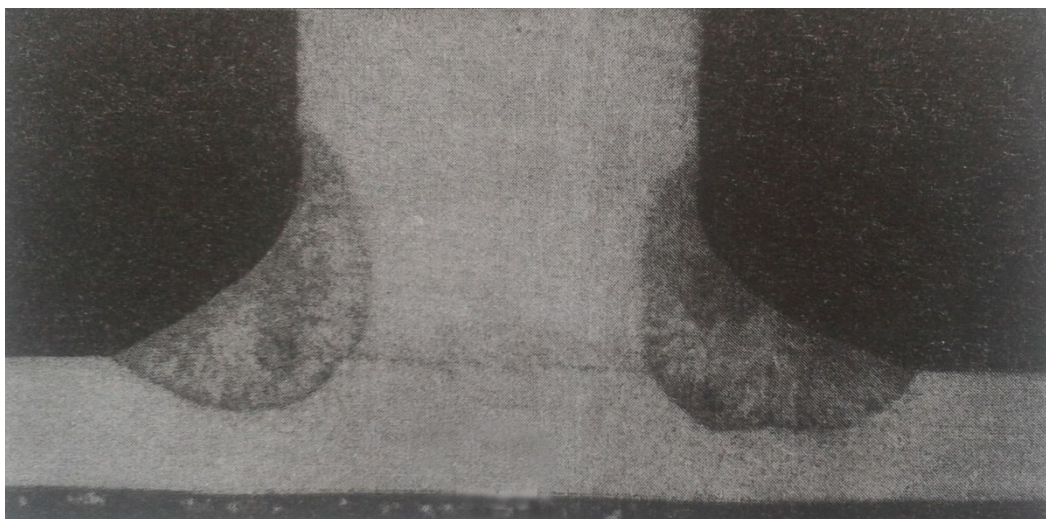
Metalografické zkoušky, doplňují běžné zkoušky mechanických vlastností při ověřování stavu struktury materiálu, (svarových spojů). Metalografické zkoušky se rozdělují na ověření makrostruktury a na ověření mikrostruktury. K tomu se používá optický, nebo elektronový mikroskop. Před každým prováděním metalografických zkoušek, musí být zajištěná dokonalá příprava zkušebního materiálu (mechanické dělení, opracování, broušení, leštění, leptání). [20]

#### **6.1.1 Makrostruktura svarového spoje**

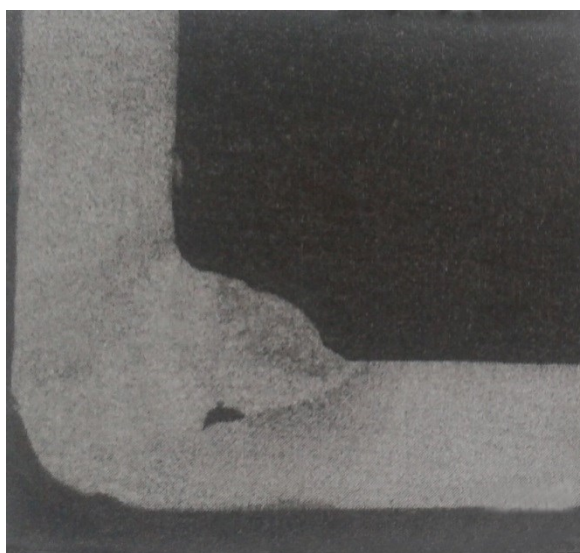
Princip zkoušky je leptání předem vybroušeného povrchu vzorku činidlem pro vyvolání jeho makrostruktury. Leptadla jsou vodní 10 % roztoky kyseliny dusičné. Makrostruktura se posuzuje vizuálně okem, lupou, nebo mikroskopem. Zkoušené vzory svaru musí obsahovat základní materiál neovlivněný svařováním, TOO a svarový kov (obr. 14 a 15).

Tato zkouška posuzuje:

- tvar svaru
- způsob svařování jednotlivých housenek
- správnost provaření kořenové vrstvy
- šířku TOO
- výskyt vad (defektů). [20]



*Obr. 14* Koutový svar korozivzdorné oceli. [20]



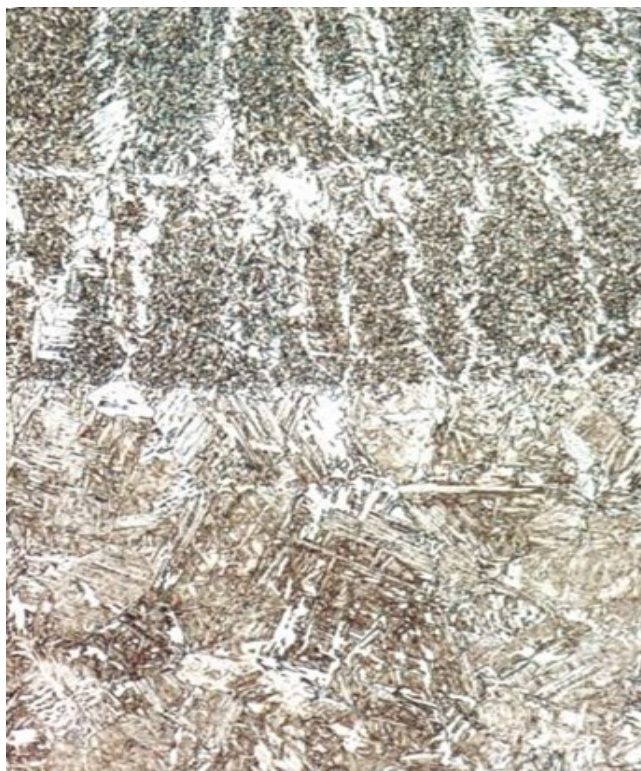
*Obr. 15* Nevyhovující makrostruktura svarového spoje. [20]



### 6.1.2 Mikrostruktura svarového spoje

U mikrostrukturních rozborů je zkoumána mikrostruktura jednotlivých oblastí svarového spoje na připravených výbrusech zkušebních vzorků s použitím optických mikroskopů, které umožňují až dvatisícekrát zvětšení. Tento mikrostrukturní rozbor zahrnuje přípravu výbrusů zkušebních vzorků, vyvolání mikrostruktury leptáním, pozorování vzorku v optickém mikroskopu a následné vyhodnocení. Touto kontrolou lze pozorovat jednotlivá zrna materiálu, hranice zrn, strukturní složky materiálu svaru včetně tepelně ovlivněné oblast.

Pro svou náročnost a pracnost se tato zkouška provádí pouze u určitých materiálů a pro výrobky složité na výrobu. Hodnocení svarových spojů vyžaduje kromě (lupy, stereomikroskopy či dobrý zrak) i značnou zkušenost. V předpisech a normách je stanoveno při jakém zvětšení se má hodnocení provádět, a to od hodnocení pouhým okem až po hodnocení pomocí lupy či stereomikroskopu, kde se dá blíže specifikovat, o jakou vadu jde. [27]



*Obr. 16 Mikrostruktura v TOO. [27]*

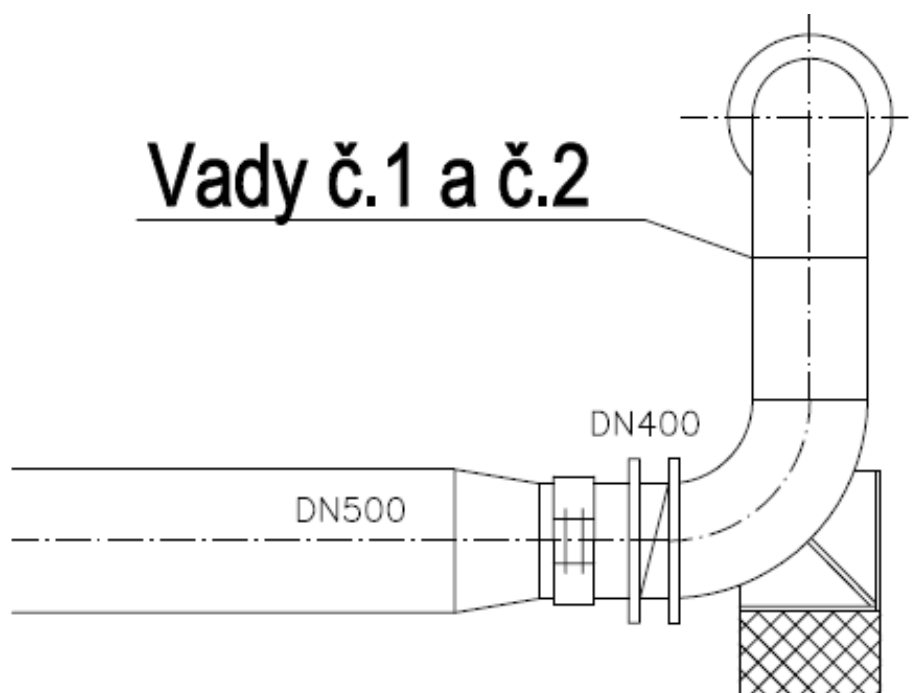
## 7 Experimentální část práce

### 8 Posouzení vad svarových spojů

Vady svarových spojů na úpravně vody byly pozorovány přibližně po roce provozu.

Jednalo se celkem o tři vady ve dvou svarových spojích, které byly podrobeny radiografické zkoušce. Dále byly provedeny metalografické zkoušky jak zkoušky makrostruktury, tak zkoušky mikrostruktury na všech třech vadách svarových spojů.

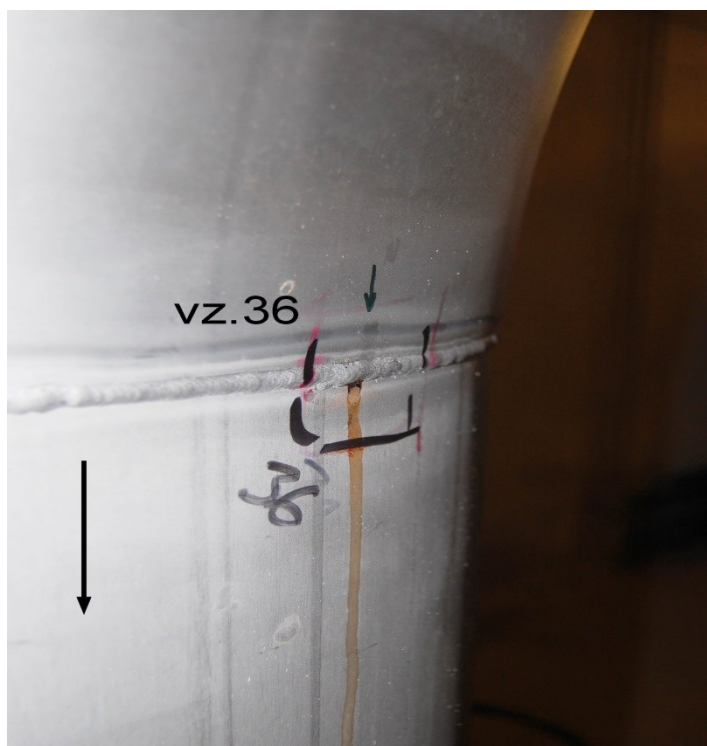
Dále byl proveden rozbor vody, která protékala daným potrubím. Všechny tři svary byly tupé, kdy v prvním případě se jedná o svarový spoj 90° oblouku a v druhém případě jde o spojení potrubí-potrubí (obr. 17). Materiál potrubí je vysokolegovaná ocel značená 1.4301.



Obr. 17 Umístění vad ve svarovém spoji.

#### 8.1 Vada č. 1

Vada číslo 1, je na snímcích označena jako vzorek č. 36. Je to vada, která byla způsobená ve svarovém spoji mezi obloukem 90° a potrubím o dimenzi DN400.



*Obr. 18 Vzorek č. 36, vada ve svarovém spoji.*

Po výměně části potrubí a provedené opravě byly jednotlivé vzorky všech tří vad podrobeny metalografickým zkouškám makrostruktury a mikrostruktury.

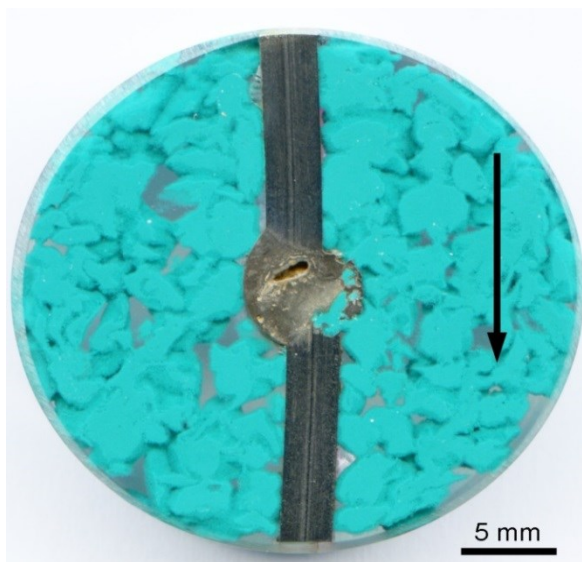


*Obr. 19 Vnější povrch.*



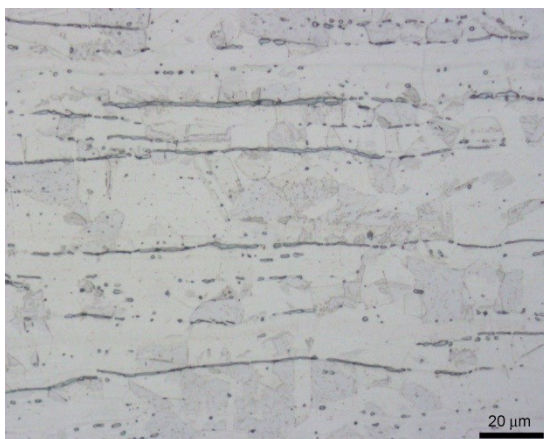
*Obr. 20 Vnitřní povrch.*



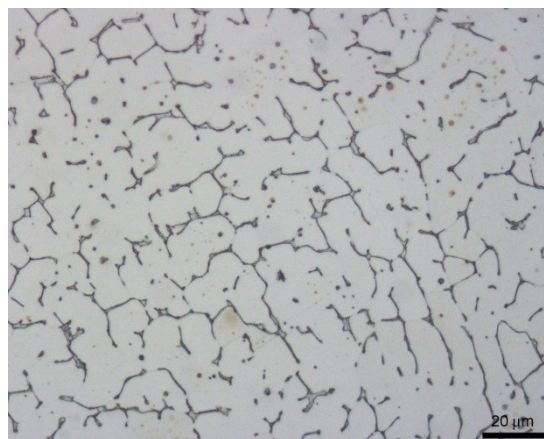


*Obr. 21* Makrostruktura svarového spoje vzorku 36.

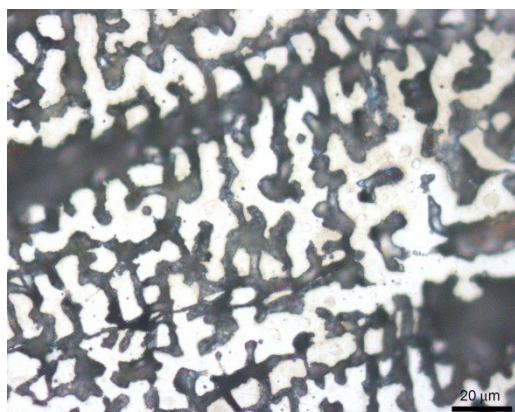
Již ze zkoušky makrostruktury svarového spoje bylo zřejmé, že vzhled vady ukazuje intenzivní degradaci svarového kovu korozí zejména v místě kořene svaru a na materiálu potrubí za svarem.



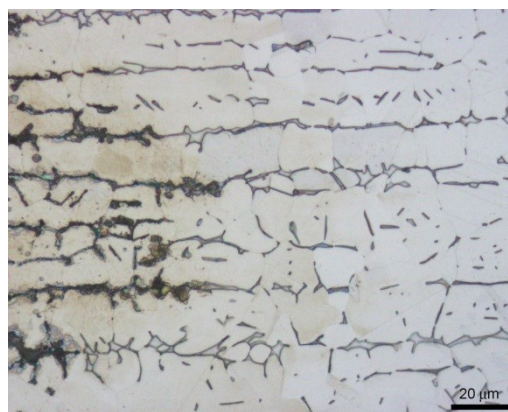
*Obr. 22* Mikrostruktura základního mat.



*Obr. 23* Mikrostruktura svarového kovu.



*Obr. 24* Mikrostruktura svarového kovu v místě vady.



*Obr. 25* Mikrostruktura v přechodové oblasti.

Mikrostrukturu potrubí před svarem ukazuje obr. 22. Struktura oceli je tvořena austenitem a deformačně indukovaným martenzitem. Dále jsou ve struktuře patrné protáhlé částice  $\delta$ -feritu v řádkovitém uspořádání. Tato struktura oceli vznikla při válcování polotovaru potrubí. Ve struktuře svarového kovu (obr. 23) pozorujeme austenit a  $\delta$ -ferit, který je vyloučen mezidendriticky. Struktura základního materiálu ocelového potrubí je tvořena austenitem, martenzitem a  $\delta$ -feritem s výrazně texturním charakterem vyloučení  $\delta$ -feritu. V porovnání s ocelovým potrubím před svarem jsou částice  $\delta$ -feritu poněkud hrubší.

Důsledky korozního působení v oblasti svarového kovu ukazuje obr. 24. Na snímku je možné pozorovat, že korozní napadení se soustřeďuje zejména na částice  $\delta$ -feritu případně na rozhraní  $\delta$ -ferit – austenit. Vzhled korozního působení v přechodové oblasti svar – základní materiál potrubí za svarem je dokumentován na obr. 25. I v této oblasti se korozní prostředí soustředilo na částice  $\delta$ -feritu případně na rozhraní  $\delta$ -ferit – austenit.

## 8.2 Vada č. 2

Vada číslo 2, je na snímcích označena jako vzorek č. 36 A. Je to vada, která byla způsobená ve svarovém spoji mezi obloukem 90° a potrubím o dimenzi DN400. Byla ve stejném svarovém spoji jako vada č. 1.



Obr. 26 Vzorek č. 36, vada ve svarovém spoji.

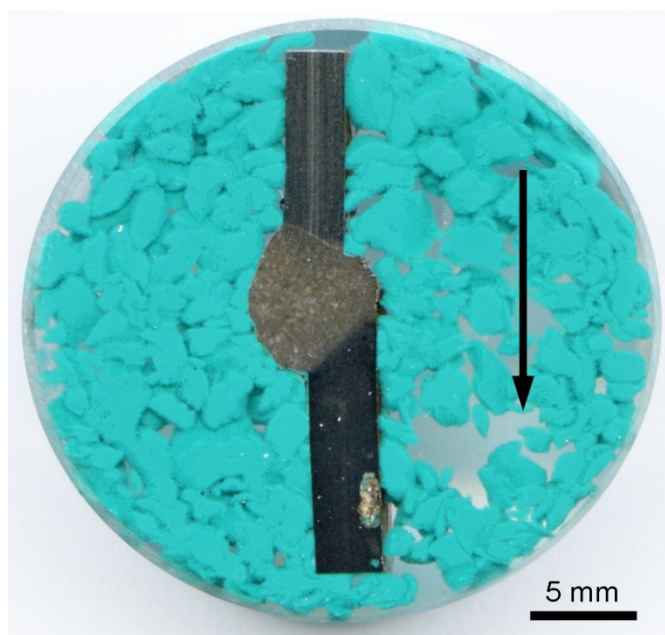




*Obr. 27 Vnější povrch vz. 36A.*

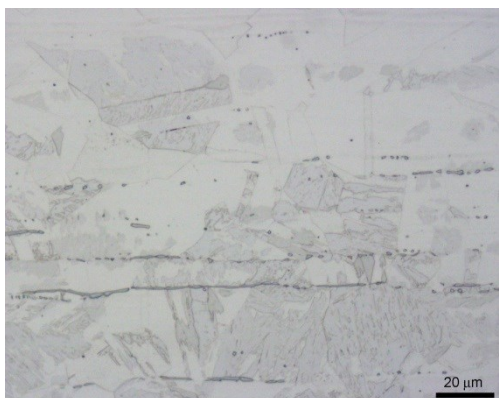


*Obr. 28 Vnitřní povrch vz. 36A.*

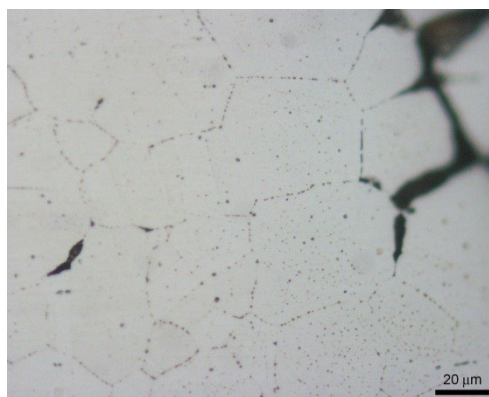


*Obr. 29 Makrostruktura svarového spoje vzorku 36A.*

Po výsledcích zkoušky makrostruktury u vzorku 36A lze pozorovat značné poškození stěny ocelového potrubí za svarem (obr. 32) projevující se povrchovou nerovností materiálu i podpovrchovými dutinami značných rozměrů. Korozní napadení se projevilo i v oblasti kořene svaru. Z obrázku je zřejmé, že svarový spoj je značně přesazen.



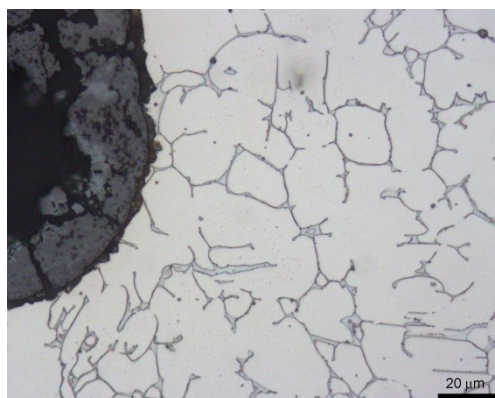
*Obr. 30* Mikrostruktura zákl. mat.



*Obr. 31* Mikrostruktura svarového kovu



*Obr. 32* Mikrostr. svar. kovu v místě vady.



*Obr. 33* Mikrostr. v přechodové oblasti



*Obr. 34* Mikrostruktura zákl. mat.

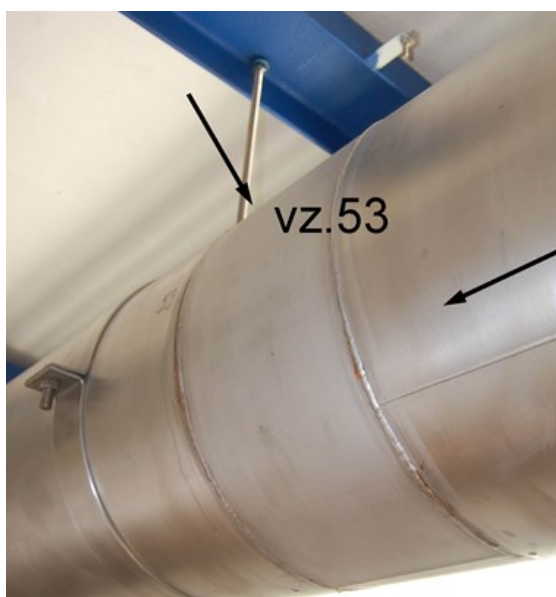
Mikrostruktura materiálu vzorku 36A potrubí před svarem v místech je shodná se strukturou vzorku 36 (obr. 30). Má texturní charakter a je tvořena směsí austenitu, martenzitu a  $\delta$ -feritu. Svarový kov (obr. 31) má v austenitické matici mezidendriticky vyloučen značný podíl  $\delta$ -feritu. Na obrazech je dokumentováno korozní napadení povrchu svarové housenky.



Materiál potrubí za svarem má austenitickou strukturu s částicemi  $\delta$ -feritu vyloučenými v řádkovitém uspořádání (obr. 34). Detail korozního napadení materiálu potrubí za svarem ukazují (obr. 32 a obr. 33). Ve struktuře povrchu vzniklých dutin po odstranění korozních zplodin je možno pozorovat detail napadení hranic zrn.

### 8.3 Vada č. 3

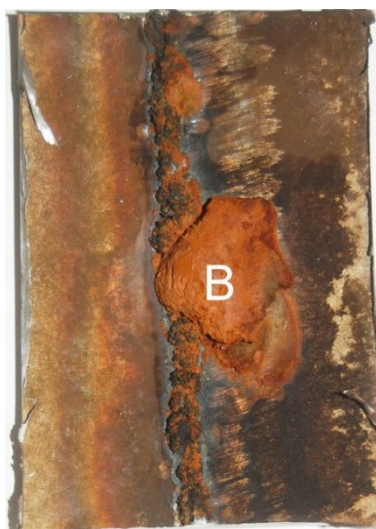
Vada číslo 3, je na snímcích označena jako vzorek č. 53. Je to vada, která byla způsobená ve svarovém spoji mezi potrubím o dimenzi DN400. Tato vada je zcela na odlišném místě, než byly vady č.1 a č. 2.



Obr. 35 Vzorek č. 53, vada ve svarovém spoji.



Obr. 36 Vnější povrch vz. 53.

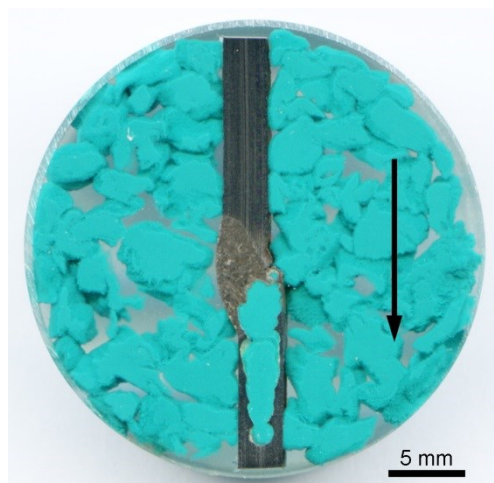


Obr. 37 Vnitřní povrch vz. 53.





*Obr. 38* Vzorek po odstranění nečistot vz. 53.



*Obr. 39* Makrostruktura svar spoje

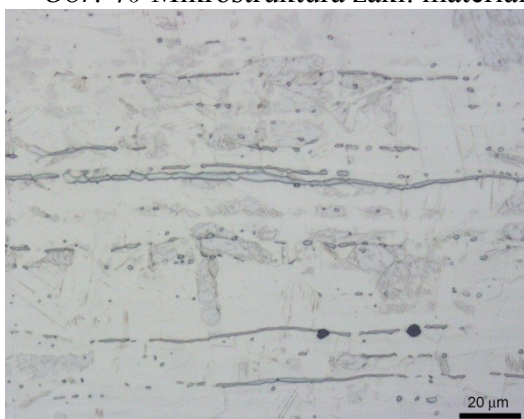
Makrostruktura těchto vzorků je dokumentována na obr. 42, na kterém je možné pozorovat poškození materiálu potrubí za svarem korozí. To se projevilo výskytem rozsáhlé dutiny vzniklé po odstranění korozních zplodin. Současně byl korozí napaden i svarový kov.



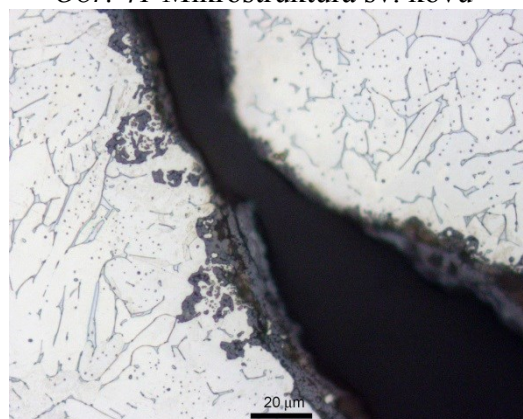
*Obr. 40* Mikrostruktura zákl. materiálu.



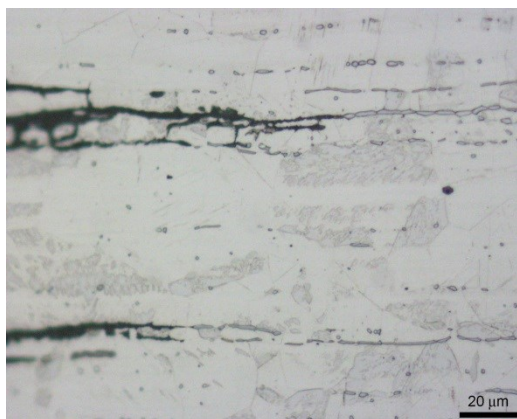
*Obr. 41* Mikrostruktura sv. kovu



*Obr. 42* Mikrostr. zákl. mat. za sv. spojem



*Obr. 43* Mikrostr. Přechodové oblasti



*Obr. 44* Mikrostruktura zákl. mat. za svarem v místě vady.

Struktura materiálu potrubí před svarem je tvořena austenicko-martenzitickou maticí, ve které jsou vyloučeny protáhlé částice  $\delta$ -feritu podélně orientované ve směru tváření materiálu polotovaru (obr. 40). Svarový kov (obr. 41) se vyznačuje dendritickou strukturou, ve které jsou částice  $\delta$ -feritu vyloučeny v austenitické matici mezidendriticky. Materiál potrubí za svarem má strukturu tvořenou směsí austenitu, martenzitiu a  $\delta$ -feritu obr. 42. Vzhled korozního působení včetně výskytu korozních zplodin na rozhraní svar-potrubí za svarem je dokumentován na obr. 43. Degradaci struktury potrubí za svarem ukazuje obr. 44.

Metalografické rozborů zkoušených vzorků ukázaly, že použitá korozivzdorná ocel, má strukturu austeniticko-martenzitickou s vyloučeným  $\delta$ -feritem v řádkovitém uspořádání (s výraznou texturou). Také ve svarovém kovu se vyskytuje značné množství  $\delta$ -feritu vyloučeného mezidendriticky. Z rozborů všech vzorků lze soudit, že se korozní proces přednostně uplatňuje na této strukturní složce. Korozí je přednostně napadána ocel použitá na potrubí za svarovým spojem ve směru proudění vody a pouze částečně svarový kov. Jedná se o korozi, která vzniká v tloušťce stěny základního materiálů. V materiálu se poté vytvořily dutiny.

Je zřejmé, že tento děj má řádkovitý charakter stejně jako částice  $\delta$ -feritu vyloučené ve struktuře. Lze tedy říci, že přednostně je korozí napadána tato strukturní fáze, případně rozhraní  $\delta$ -ferit – austenit.

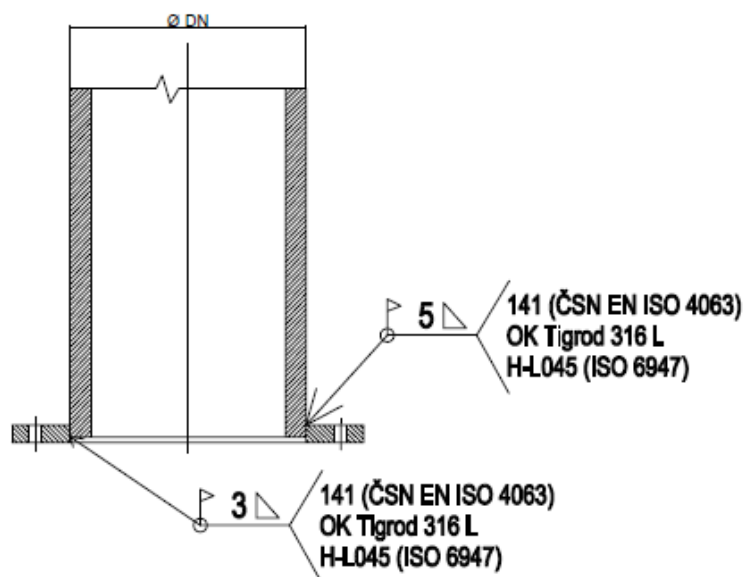
Z výsledků zkoušky makro i mikrostruktury je patrné, že původní svary nebyly chráněny formovacím plynem z místa kořene svaru. Další problematickou oblastí bylo prověřované chemické složení vody, která v sobě obsahuje látky, působící na vnitřní stranu potrubí.

## 9 Návrh a postup oprav vad svarových spojů

Na základě posouzení vad uvedených v kapitole 8 byly stanoveny podmínky a postup oprav vad č. 1, 2 a 3 svarových spojů.

### 9.1 Oprava vad č. 1 a č. 2

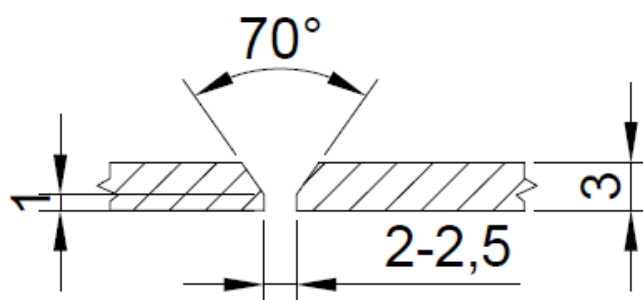
Návrh řešení pro opravu svaru, s vadami č.1 a č.2, spočíval v tom, aby byl vyměněn stávající oblouk za nový oblouk 90° DN 400. Z druhé strany bylo nutné zkrátit nerezové potrubí o 100 mm a nahradit ho novým prstencem o délce 100 mm. Na svarové spoje byly vyhotoveny WPS protokoly na svar koutový (obr. 45), i svar tupý (obr. 47).



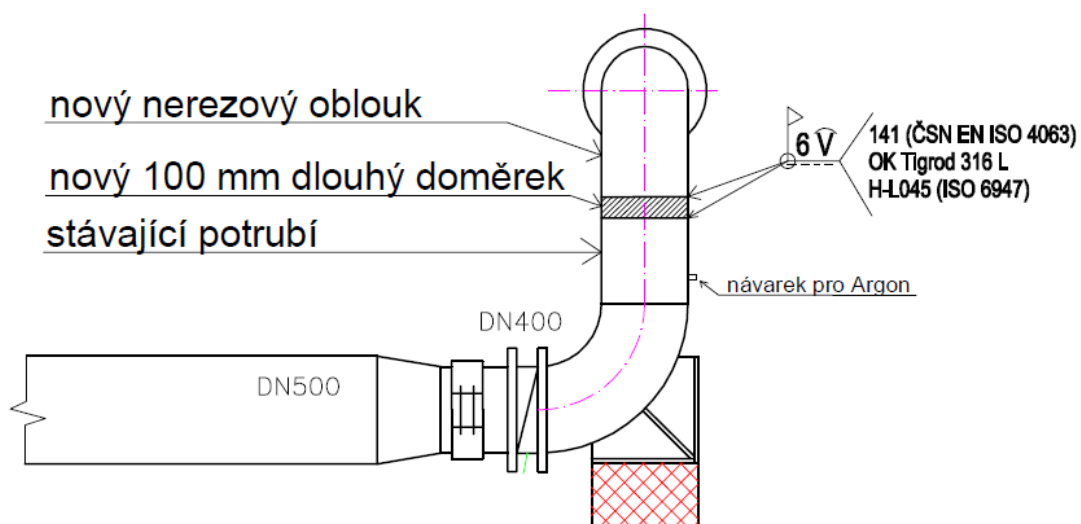
Obr. 45 Svary na přírubě.

Příruba byla svařována z obou stran, aby nedocházelo k usazování mikročástic do štěrbin, mezi přírubou a stěnou potrubí. Svar venkovní byl proveden na dvě vrstvy. Vnitřní svar, pokud jsou k tomu vhodné podmínky, může být svařován bez drátu, natavením základního materiálu. Pro tento koutový svar byla vyhotovena WPS č. 1, příloha A.

Po svaření oblouku s přírubou se mezi oblouk a stávající potrubí vsadil 100 mm dlouhý prstenec. Po nastehování dílce se potrubí zafoukalo argonem a svařilo se. Prstenec byl zbaven okují a nečistot. Pro svarový spoj byly připraveny úkosity dle obr. 46, aby došlo k 100 % provaření kořene. Pro tyto dva svarové spoje byl vypracován WPS protokol č.2, příloha,B.



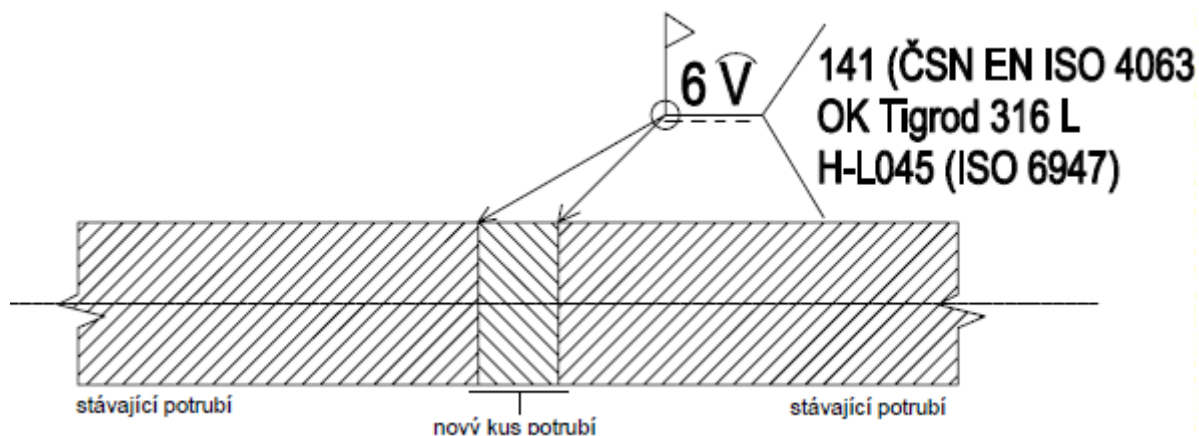
Obr. č. 46 Úprava svarové plochy.



Obr. č. 47 – Vsazení nového kusu potrubí

## 9.2 Oprava vady č. 3

Oprava vady č. 3, byla provedena podobně jako předchozí vady. Zde bude z každé strany stávajícího svaru odříznuto 100 mm potrubí DN 400. Do vyříznutého prostoru byl vsazen nový kus o délce 200 mm a po nastehování se potrubí naplnilo argonem a svařilo se. Opět byla provedena příprava svarových ploch. Plochy očištěny od nečistot a zbroušeny hrany potrubí.



*Obr. č. 48 – Vsazení nového kusu potrubí.*

Po ukončení svařování se aplikovala mořící pasta na všechny svary a po uplynutí doby účinku se nerezovými kartáči tyto svary vyčistí, opláchnou vodou.

Všechny svary musí provádět svářeč s platným certifikátem, který složil příslušné zkoušky pro svařování metodou 141, materiálu 1.4301 a správnou polohu svařování.

Po provedení oprav na potrubí dle podmínek uvedených ve WPS, byly provedeny NDT zkoušky s vyhovujícím výsledkem.

## 10 Závěr

V diplomové práci byla řešena problematika výskytu vad svarových spojů, které se objevily po krátké době na úpravně vody, za jejího provozu. Cílem bylo zjistit příčinu vzniku těchto vad a následně navrhnout opravu stávajícího potrubí.

V teoretické části práce byly definovány vlastnosti a možné problémy při svařování vysokolegovaných austenitických ocelí.

Experimentální část práce se zabývá posouzením vzniklých vad svarových spojů posuzovaných vizuálně a metalograficky včetně definování jejich vzniku.

Jedním z důležitých výsledků bylo posouzení média – vody v potrubí. Obecně je známo, že pro udržení pasivního stavu vysokolegovaných ocelí má být hodnota pH surové vody v rozmezí od 7,2 – 7,8. Naměřené hodnoty pH však na úpravně byly naměřeny nad hranicí 7,8. Navíc, surová voda obsahovala síranové ionty, které se významně podílí na tvorbě korozních zplodin, čímž začala postupně vznikat důlková koroze. Jednou z možností zabránění důlkové koroze je dokonalá ochrana kořene při svařování a důsledná pasivace povrchu kořene svaru.

Na základě uvedených výsledků lze pro nové konstrukce doporučit záměnu původního základního materiálu 1.4301 za základní materiál 1.4404 nebo 1.4571

Z provedeného posouzení vad byl navržen postup oprav potrubí v souladu s WPS. Svarové spoje byly opraveny a následná kontrola potvrdila vyhovující výsledky.

Závěrem lze konstatovat, že při zjištění vad na tlakových celcích rozvodů vody je vždy nutné provedení rozboru vzniku vad. Na základě zjištění příčin vzniku vad je nutné upravit postupy svařování, nejen pro opravy vadných míst, ale následně tyto postupy svařování použít i pro výrobu nových celků.

## **Poděkování**

Děkuji tímto Doc. Ing. Ivo Hlavatému Ph.D. za metodickou pomoc a rady, které přispěly ke zdárnému vytvoření této diplomové práce. Dále děkuji firmě Kunst, spol. s r.o. za poskytnutí podkladů, které byly nezbytné pro tvorbu a dokončení diplomové práce.



## Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, Miroslav. Nekonvenční strojírenské materiály I. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1999, c1994, 129 s. ISBN 80-707-8969-7.
- [2] Koukal, J., Schwarz, D., Hajdík, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. VŠB-TU Ostrava, 2009. ISBN 978 80-248-2025-5.
- [3] Ptáček, L. a kol. *Nauka o materiálu II*. Nakladatelství CERM Brno, 2002. ISBN 80-7204-130-4.
- [4] Svarinfo: Porovnání značení ocelí. *Svarinfo: Magazín praktického svařování* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=oceli>
- [5] Nerezová ocel 1.4301. *Inox spol. s.r.o.: Nerezový hutní materiál* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
- [6] Korozivzdorné oceli. *Euro Inox* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf)
- [7] Hadyna - International, spol. s.r.o. [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf)
- [8] Svařitelnost materiálu: Učební texty. AMBROŽ, Oldřich. *Odbor technologie svařování a povrchových úprav: FSI VUT Brno* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/svaritelnost\\_materialu\\_\\_ambroz.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/svaritelnost_materialu__ambroz.pdf)
- [9] VEVERKA, J. Odborné články a informace: Svařování korozivzdorných ocelí - přídavné materiály ke svařování. *Omnitechweld* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani\\_korozivzdornych\\_oceli\\_oerlikon.html](http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani_korozivzdornych_oceli_oerlikon.html)
- [10] Barták, J., Kovařík, R., Pilous, V. a kol. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Nakladatelství ZEROSS Ostrava, 2002. ISBN 80-85771-97-7.
- [11] Přídavné materiály: pro svařování. *Nástroje Ždánice* [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.nastrojecz.cz/dodavatele/nastrojecz\\_katalog-esab.pdf](http://www.nastrojecz.cz/dodavatele/nastrojecz_katalog-esab.pdf)
- [12] Mezikrystalová koroze. *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/document.php?docId=9623>



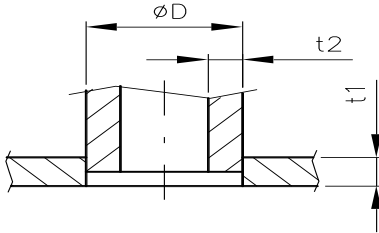
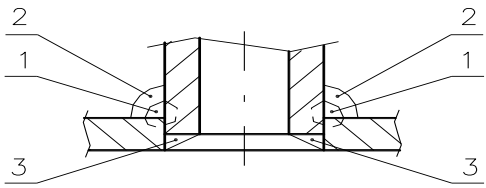
- [13] Použití korozivzdorných ocelí. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/pouziti-korozivzdornych-oceli-pro-konstrukce-a-konstrukcni-prvky/>
- [14] Mezikrystalová koroze: Teoretická část. *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze\\_mezikrystalova\\_koroze/teorie.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_mezikrystalova_koroze/teorie.htm)
- [15] Mezikrystalová koroze. *Euro Inox* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://mobile.euro-inox.org/map/intergranular\\_corrosion/CZ\\_intergranular\\_corrosion.php](http://mobile.euro-inox.org/map/intergranular_corrosion/CZ_intergranular_corrosion.php)
- [16] Bodová koroze. *Euro Inox* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://mobile.euro-inox.org/map/pitting\\_corrosion/CZ\\_pitting\\_corrosion.php?we\\_lv\\_search\\_search=bodov%C3%A1+koroze&we\\_from\\_search\\_search=1&submitbtn=Start](http://mobile.euro-inox.org/map/pitting_corrosion/CZ_pitting_corrosion.php?we_lv_search_search=bodov%C3%A1+koroze&we_from_search_search=1&submitbtn=Start)
- [17] Bodová koroze. *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_bodova.htm#1](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_bodova.htm#1)
- [18] Štěrbínová koroze. *Euro Inox* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://mobile.euro-inox.org/map/crevice\\_corrosion/CZ\\_crevice\\_corrosion.php](http://mobile.euro-inox.org/map/crevice_corrosion/CZ_crevice_corrosion.php)
- [19] Štěrbínová koroze. *VŠCHT Praha* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_sterb.htm#obr4](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_sterb.htm#obr4)
- [20] Koukal, J., Zmydlený, T. Svařování I. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2009. ISBN 978-80 248-0870-3.
- [21] Typy vad, příčiny jejich vzniku a odnocení. Česká svářečská společnost ANB [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
- [22] Tig svařování. *Svarinfo: Magazín praktického svařování* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
- [23] Hlavatý, I., *Teorie a technologie svařování*. [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z WWW: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/indexs.htm>.
- [24] Tig/Wig svařování. *Fronius Česká Republika* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-48E32D67-70A72504/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_3920.htm#.VRbNGI6Nq9d](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-48E32D67-70A72504/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3920.htm#.VRbNGI6Nq9d)

- [26] Messer: Gases for Life [online]. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z:  
[http://www.messergroup.com/cz/Prospekty/Svarovani\\_a\\_deleni\\_materialu/Svarovani\\_v\\_ochrannych\\_atmosferach.pdf](http://www.messergroup.com/cz/Prospekty/Svarovani_a_deleni_materialu/Svarovani_v_ochrannych_atmosferach.pdf)
- [25] Výběr ochranných plynů pro obloukové svařování. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z:  
<http://www.konstrukce.cz/clanek/vyber-ochrannych-plynu-pro-obloukove-svarovani/>
- [27] Problematika hodnocení svarových spojů. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z:  
<http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>

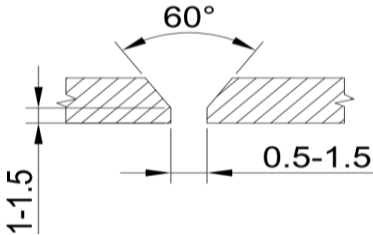
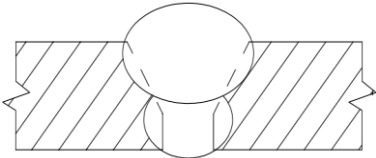
## **Seznam příloh**

<b>Příloha A:</b>	WPS protokol č.1
<b>Příloha B:</b>	WPS protokol č.2
<b>Příloha C:</b>	kvalifikace svářeče

**Příloha A: WPS protokol č.1**

<b>WPS</b>	Specifikace postupu svařování Welding procedure specification dle ČSN EN ISO 15609-1 Doporučený formulář pro metodu 141 dle ČSN EN ISO 15607			
WPS v souladu s WPQR			Číslo WPS: 1	
Specifikace základního materiálu: 1.4301			Skupina oceli: 8	
Polotovary P/T: T	Průměr: 406		Tloušťka: $t_1=3, t_2=20$	
Předehřev základního materiálu:		Interpass: do 100°C	Dohřev:	
Specifikace svařovacího materiálu: OK Tigrod 316 L		EN ISO 14343 - A		
Specifikace inertního plynu: Argon 4,6		Skupina: dle EN ISO 141 75 I1		
Specifikace W elektrody: WC20		Průměr elektrody: 2,4		
Poloha svařování: všechny, mimo PG a J-L 45		Druh svaru:	Počet housenek:	
Tvar a rozměr svarových ploch		Postup svařování-sled kladení housenek		
				
Způsob přípravy před svařováním: povrch zbavit nečistot, odmastit				
Broušení housenek:		Chemické čištění:		
Parametry svařování:				
Svarová housenka	1	2	3	4
Metoda svařování (ISO 4063)	141	141	141	
Druh proudu / polarita DC/AC +/-	DC	DC	DC	
Svařovací proud (A)	90-100	80-90	80-90	
Napětí (V)	10-11	10-11	10-11	
Průměr přídavného materiálu (mm)	2,4	2,4	2,4	
Průměr plynové hubice (mm)	8	8	8	
Průtokové množství plynu (l/min)	8-11	8-11	8-11	
Postupová rychlost svařování (cm/min)	15-25	15-25	15-25	
Drážkování a podložení kořene:				
Způsob čištění povrchu a kořene svaru po skončení svařování: kartáčování, pasivace				
místo a datum vydání		razítko a podpis		
		technologa/inženýra svařování		

**Příloha B: WPS protokol č.2**

<b>WPS</b>	Specifikace postupu svařování Welding procedure specification dle ČSN EN ISO 15609-1 Doporučený formulář pro metodu 141 dle ČSN EN ISO 15607 čl.5			
WPS v souladu s WPQR			Číslo WPS: 2	
Specifikace základního materiálu: 1.4301			Skupina oceli: 8	
Polotovary P/T: T	Průměr: 406		Tloušťka: 3	
Předehřev základního materiálu:		Interpass: do 100°C	Dohřev:	
Specifikace svařovacího materiálu: OK Tigrod 316 Lsi			ČSN EN ISO 14343	
Specifikace inertního plynu:			Skupina: dle EN ISO 14175	
Specifikace W elektrody: WC20			Průměr elektrody: 2,4	
Poloha svařování: všechny, mimo PG a J-L 4		Druh svaru: BW	Počet housenek: 2	
Tvar a rozměr svarových ploch		Postup svařování-sled kladení housenek		
				
Způsob přípravy před svařováním: broušení, povrch zbavit nečistot, kartáčování				
Broušení housenek:		Chemické čištění: mořící pasta antox		
Parametry svařování:				
Svarová housenka	1	2	3	4
Metoda svařování (ISO 4063)	141	141		
Druh proudu / polarita DC/AC +/-	DC	DC		
Svařovací proud (A)	60-75	75-78		
Napětí (V)	10	10		
Průměr přídatného materiálu (mm)	2,4	2,4		
Průměr plynové hubice (mm)	8	8		
Průtokové množství plynu (l/min)	8-9/kořen5	8-9/kořen5		
Postupová rychlost svařování (cm/min)	15-25	20-25		
Drážkování a podložení kořene: použít formovací plyn 95/5 (dusík/vodík)				
Způsob čištění povrchu a kořene svaru po skončení svařování: chem. čištění, kartáčování				
místo a datum vydání		razítko a podpis technologa/inženýra svařování		

# Příloha C: kvalifikace svářeče



ČESKÁ SVÁŘEČSKÁ SPOLEČNOST ANB  
CZECH WELDING SOCIETY ANB  
Věřířkova 4, 150 75 PRAHA 6

Certifikační orgán pro certifikaci personálu ve svařování č. 3032  
Akreditovaný Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. podle ČSN EN ISO/IEC 17024



## CERTIFIKÁT SVÁŘEČE

2 Osačení: **EN 287-1 141 T BW B S t2,0 D54,0 H-L045 ss nb**

3 Postup svařování WPS: **53**  
4 Číslo dokladu: **13/218819**  
5 Jméno svářeče: **MARŠÁLEK Aleš**  
6 Průkaz: **4404301**  
7 Druh průkazu: **Občanský průkaz**  
8 Datum a místo narození: **16.2.1987, Hranice**  
9 Zaměstnavatel: **KUNST s.r.o., Hranice**  
10 Předpis / zkoušební norma: **ČSN EN 287-1**  
11 Odborné znalosti: **nezkoušen**

Zkušební organizace:

DCM - ZO 13, s.r.o. Ostrava  
Číslo zkoušky: 13-039/04352



12	Údaje o zkoušce:	Koušah platnosti:
13 Metoda svařování EN ISO 4063:2009:	141	141, 142
14 Plech nebo trubka:	T	T/P
15 Druh svaru / doplňkový svar:	BW	BW / PW
16 Skupina(y) materiálů:	B	B, 9.2, 9.3, 10
17 Typ příř. materiálu/značení:	S	S, nm
18 Ochranné plyny:	EN ISO 14175: 11	
19 Pomocné materiály:		
20 Tloušťka zkoušebního kusu (mm):	2,0	2,0 až 4,0
21 Vnější průměr trubky (mm):	54,0	≥ 27,0
22 Poloha svařování:	H-L045	PA, PB, PC, PD, PE, PF, PH, H-L045
23 Ostatní detaily svaru:	ss, nb	ss-nb/nb; ss

24 Další pokyny viz příložený list a/nebo postup svařování

25	Způsob zkoušení	Vykonané	Nepočítávané
26	Vizuální kontrola	X	-
27	Zkouška prodlážením	-	X
28	Magnetická prášková zkouška	-	X
29	Barvná kapalná zkouška	-	X
30	Zkouška makrostruktury	-	X
31	Zkouška rozlomením	-	X
32	Zkouška ohybem	X	-
33	Doplňkové zkoušky *)	-	X

Datum zkoušky: 9.3.2012  
Platná do: 9.3.2014  
Den vydání: 12.3.2012  
Schválil: Ing. Stanislav Šimčík



Potvrzení platnosti zaměstnavatelem nebo odpovědným dovozem pro dalších 6 měsíců

34 \*) Pokud jsou nutné, uveďte údaje na příloženém listu

35 Prodloužení platnosti certifikátu certifikačním orgánem  
36 na další 2 roky

37	Datum	Podpis	Služební postavení nebo titul

Datum	Podpis	Služební postavení nebo titul
6.4.12		KUNST spol. s r.o. Hranice
6.10.2012		130881 Jan Šimčík
5.4.2013		13-508 Jan Šimčík